











External electrodes for piezoceramic stack actuators

Patent number: EP1204152
Publication date: 2002-05-08
Inventor: BINDIG REINER (DE); SCHREINER HANS-JUERGEN DR (DE)
Applicant: CERAMTEC AG (DE)
Classification:
- **International:** H01L41/047; H01L41/083
- **European:** H01L41/047; H01L41/083
Application number: EP20010126097 20011102
Priority number(s): DE20001054735 20001106; DE20011052490 20011024

Also published as:

 US6798123 (B2)
 US2002089266 (A1)
 JP2002171004 (A)
 EP1204152 (A3)
 DE10152490 (A1)

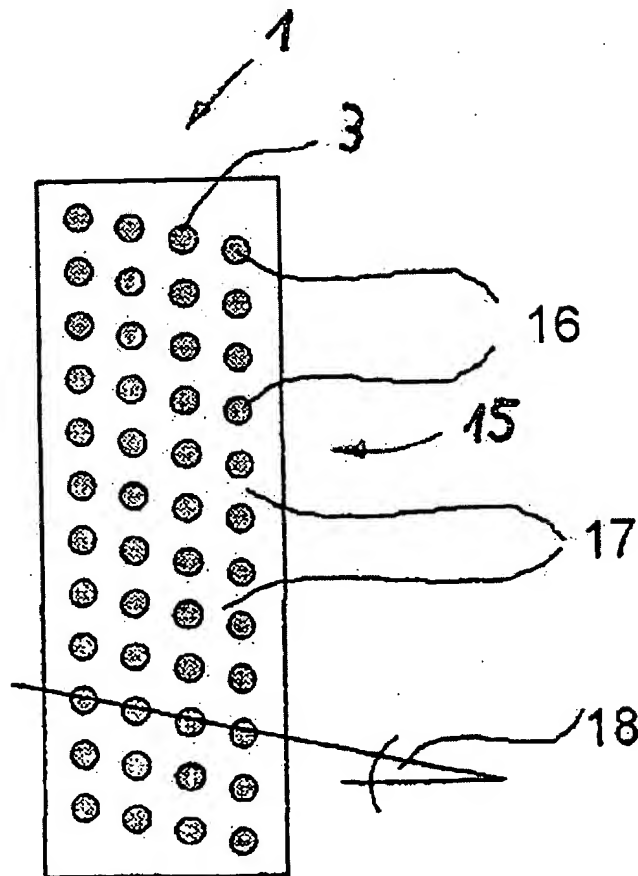
Cited documents:

 DE19928178
 DE19860001
 DE3940619
 DE4224284
 US4523121
more >>

Report a data error here

Abstract of EP1204152

Outer electrode consists of a layer of base metallization (3) applied to the ceramic material of the surface of an actuator (1). A reinforcing layer (4) is joined to the metallization layer using a connecting layer (8). The reinforcing layer is soldered to a connecting wire (5). The metallization layer is structured by recesses. An independent claim is also included for a process for the production of an outer electrode. Preferred Features: The structure of the base metallization consists of a printing pattern paste produced using a printing process. The paste has the composition: Ag_xPd_y (where, $x + y = 1$, and 1×0 , preferably 1×0.7). The metallic material is nickel.

Fig. 4.**BEST AVAILABLE COPY**

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.05.2002 Patentblatt 2002/19

(51) Int Cl.7: **H01L 41/083, H01L 41/047**

(21) Anmeldenummer: **01126097.3**

(22) Anmeldetag: **02.11.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
 • **Bindig, Reiner**
95463 Bindlach (DE)
 • **Schreiner, Hans-Jürgen, Dr.**
91233 Neunkirchen am Sand-Rollhofen (DE)

(30) Priorität: **06.11.2000 DE 10054735**
24.10.2001 DE 10152490

(74) Vertreter: **Scherzberg, Andreas, Dr. et al**
c/o DYNAMIT NOBEL AKTIENGESELLSCHAFT,
-Patente, Marken & Lizenzen-
53839 Troisdorf (DE)

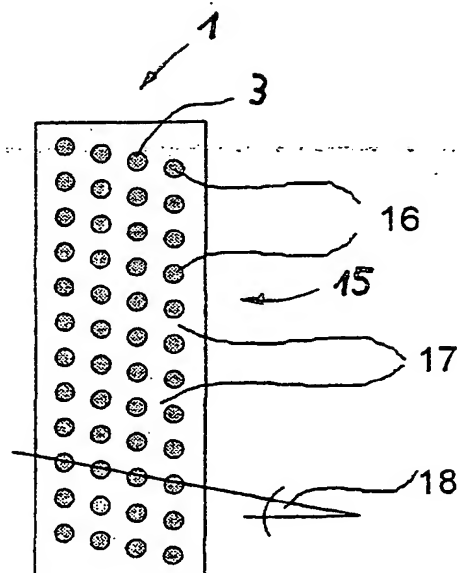
(71) Anmelder: **CeramTec AG Innovative Ceramic**
Engineering
73207 Plochingen (DE)

(54) **Aussenelektroden an piezokeramischen Vielschichtaktoren**

(57) Bei Außenelektroden an piezokeramischen Vielschichtaktoren, die in herkömmlicher Weise an die Vielschichtaktoren angebracht werden, wirken während des Betriebs starke Zugspannungen auf den Isolierbereich unter der Grundmetallisierung. Da dieser Isolierbereich zusammen mit der Grundmetallisierung und der Verbindungsschicht eine homogene Einheit bildet, versagt diese beim Überschreiten der Zugfestigkeit des schwächsten Gliedes und es bilden sich Risse. Die unkontrolliert durch den Isolierbereich verlaufenden Risse sind sehr kritisch, da sie den Isolationsabstand verringern und die Wahrscheinlichkeit eines Aktorausfalls durch Überschläge stark erhöhen.

Erfindungsgemäß wird deshalb vorgeschlagen, dass die Schicht der Grundmetallisierung (3) durch Unterbrechungen oder Ausnehmungen (17) strukturiert (15) ist.

Fig. 4



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Außenelektroden an piezokeramischen Vielschichtaktoren sowie ein Verfahren zu ihrer Herstellung.

[0002] Der Aufbau und die Herstellung von Aktoren und ihren Außenelektroden wird unter anderem ausführlich beschrieben in DE 33 30538 A1, DE 40 36 287 C2, US 5 281 885, US 4 845 399, US 5 406 164 und JP 07-226541 A.

[0003] Ein piezokeramischer Vielschichtaktor ist schematisch in Figur 1 dargestellt. Die Figur 2 zeigt in einem vergrößerten Ausschnitt den Aufbau der Außenelektrode nach dem Stand der Technik und die Figur 3 einen typischen Rissverlauf nach 10^6 Belastungszyklen in dem keramischen Werkstoff unter einer Außenelektrode nach dem Stand der Technik. Piezokeramische Vielschichtaktoren 1 werden als Monolithen ausgeführt, das heißt, sie bestehen aus gestapelten dünnen Schichten 2 piezoelektrisch aktiven Materials, beispielsweise Blei-Zirkonat-Titanat (PZT), mit dazwischen angeordneten leitfähigen Innenelektroden 7, die alternierend an die Aktoroberfläche geführt werden. Das aktive Material wird als sogenannte Grün-Folie vor dem Sintern durch ein Siebdruckverfahren mit Innenelektroden 7 versehen, zu einem Stapel verpresst, pyrolysiert und dann gesintert, wodurch ein monolithischer Vielschichtaktor 1 entsteht.

[0004] Außenelektroden 3, 4, 8 verbinden die Innenelektroden 7. Dadurch werden die Innenelektroden 7 jeweils auf einer Seite des Aktors 1 elektrisch parallel geschaltet und so zu einer Gruppe zusammengefasst. Die Außenelektroden 3, 4 sind die Anschlusspole des Aktors. Wird eine elektrische Spannung an die Anschlusspole gelegt, so wird diese auf alle Innenelektroden 7 parallel übertragen und verursacht ein elektrisches Feld in allen Schichten des aktiven Materials, das sich dadurch mechanisch verformt. Die Summe aller dieser mechanischen Verformungen steht an den Endflächen des Aktors als nutzbare Dehnung 6 und/oder Kraft zur Verfügung.

[0005] Die Außenelektroden 3, 4, 8 an den piezokeramischen Vielschichtaktoren 1 sind wie folgt aufgebaut: Auf die zu einem Stapel gepressten dünnen Schichten 2 des piezoelektrisch aktiven Materials wird im Bereich der herausgeführten Innenelektroden 10, beispielsweise durch galvanische Verfahren oder Siebdruck von Metallpaste, eine Grundmetallisierung 3 aufgebracht. Diese Grundmetallisierung 3 wird durch eine weitere Schicht 4 aus einem metallischen Werkstoff verstärkt, beispielsweise durch ein strukturiertes Blech oder ein Drahtnetz. Die Verbindung der Verstärkungsschicht 4 mit der Grundmetallisierung 3 erfolgt beispielsweise mittels einer Lotschicht 8. An die Verstärkungsschicht 4 wird der elektrische Anschlussdraht 5 gelötet.

[0006] Derart aufgebaute Außenelektroden weisen einen gravierenden Nachteil auf. Während des Betriebes wirken auf den Isolierbereich 11, der unter der

Grundmetallisierung 3 liegt, starke Zugspannungen. Da dieser Isolierbereich 11 zusammen mit der Grundmetallisierung 3 und der Verbindungsschicht 8, in der Regel eine Lotschicht, eine homogene Einheit bildet, versagt diese beim Überschreiten der Zugfestigkeit des schwächsten Gliedes und es bilden sich Risse. Die Risse laufen gewöhnlich von der spröden und wenig zugfesten Grundmetallisierung 3 in den Isolierbereich 11 und werden dort von Bereichen mit hohen Zugspannungen eingefangen, bevorzugt an den Elektrodenspitzen 9 der nicht die Grundmetallisierung 3 berührenden Elektroden 12, oder sie beginnen in den Bereichen maximaler Zugspannung an den Elektrodenspitzen 9 und verlaufen in Richtung Grundmetallisierung 3. Diese typischen Risse 14 sind in Fig. 3 dargestellt.

[0007] Die Ausbreitung eines Risses 13 entlang einer die Grundmetallisierung 3 berührenden Innenelektrode 10 ist als unkritisch einzustufen, da ein solcher Rissverlauf die Funktion des Aktors nicht beeinträchtigt. Risse 14 dagegen, die unkontrolliert durch den Isolierbereich 11 verlaufen, sind sehr kritisch, da sie den Isolationsabstand verringern und die Wahrscheinlichkeit eines Aktorausfalls durch Überschlüsse stark erhöhen.

[0008] Problemlösungen werden zum Beispiel in den Patentanmeldungen DE 198 60 001 A1, DE 394 06 19 A1, DE 196 05 214 A1 beschrieben. Es wird dort vorgeschlagen, den Bereich zwischen einer nicht die Grundmetallisierung berührenden Elektrode und der Grundmetallisierung mit einem Füllmaterial geringer Zugfestigkeit oder einem Hohlraum zu versehen. Die wesentlichen Nachteile dieser Vorgehensweise sind darin zu sehen, dass das Füllmaterial mit einem zusätzlichen, komplexen Verfahrensschritt aufgebracht werden muss, dass das Füllmaterial unvermeidbar die Eigenschaften der Aktors negativ beeinflusst und im Falle der eingebrachten Hohlräume diese in einem weiteren Verfahrensschritt vor dem Aufbringen der Grundmetallisierung wieder geschlossen werden müssen.

[0009] Eine andere Problemlösung wird in DE 199 28 178 A1 vorgeschlagen. Hier wird der monolithische Aufbau in kleine Teilbereiche zerlegt und alternierend mit inaktiven, elektrodenfreien Bereichen wieder aufgebaut. Hierbei soll innerhalb eines aktiven Bereiches die maximal mögliche Zugspannung unterhalb des zur Rissbildung notwendigen Wertes bleiben. Das Verfahren ist fertigungstechnisch schwierig und führt nicht zur notwendigen Reduktion der Spannungen im Isolierbereich, so dass immer eine latente Rissgefahr bestehen bleibt.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, die Außenelektroden an Vielschichtaktoren so zu gestalten, dass die Ursachen zur Rissbildung in den Aktoren möglichst vermieden werden und dass beim Auftreten von Rissen deren Verlauf so gesteuert wird, dass er nicht zur Zerstörung der Aktoren führt.

[0011] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß dadurch, dass die Grundmetallisierung der Außenelektrode nicht mehr eine geschlossene Fläche bildet,

sondern strukturiert ist, wobei die Strukturierung durch Unterbrechungen oder Ausnehmungen gebildet wird. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen beansprucht.

[0012] Durch die Strukturierung der Grundmetallisierung in der Außenelektrode wird die Steifigkeit des Verbundes, bestehend aus Keramikoberfläche, Grundmetallisierung und Verbindungsschicht, insgesamt herabgesetzt, wodurch bei auftretenden Rissen Vorzugsrichtungen für die Rissausbreitung erzeugt werden. Die Strukturierung bewirkt, dass die mechanische Rückwirkung der Außenelektrode auf den Aktor und damit auch der Risseintrag verringert wird, ohne die Haftfestigkeit der Außenelektrode und die sichere Kontaktierung der Innenelektroden zu gefährden.

[0013] Die durch die Strukturierung der Grundmetallisierung müssen allerdings Flächen verbleiben, die mindestens so groß sind, dass jeweils benachbarte Innenelektroden durch mindestens eine Fläche miteinander verbunden sind.

[0014] Weiterhin entstehen durch die Unterbrechung der Grundmetallisierung in der Außenelektrode an der Aktoroberfläche Bereiche, in denen zwischen der Verbindungsschicht, die die Verstärkungsschicht mit der Grundmetallisierung verbindet, insbesondere bei einer Lotschicht, und den nach außen führenden Innenelektroden eine Wechselwirkung stattfindet. Durch die Unterbrechungen in der Struktur der Grundmetallisierung kann beim Auflöten der Verstärkungsschicht Metall aus dem Lot in die Innenelektroden einlegiert werden. Die Folge ist, dass die Isolierbereiche an diesen Stellen geschwächt werden, wodurch Vorzugsstellen für mögliche Rissbildungen und den Rissverlauf entstehen. Durch die Steuerung von Lötzeit und Löttemperatur kann der Eindringeffekt so eingestellt werden, dass beim späteren Betrieb des Aktors nahezu jede Innenelektrode zur Leitfläche für einen entstehenden Riss wird. Das Gefüge des Isolierbereichs wird dadurch maximal entspannt, die Risse bleiben ungefährlich; es können sich keine Risse mehr bilden, die durch den Keramikwerkstoff verlaufen. Zur Durchführung im Fertigungsprozess wird kein zusätzlicher Verfahrensschritt benötigt. Aufgrund der geringen Prozesstemperatur beim Löten wird der Keramikwerkstoff nicht geschädigt.

[0015] Bei Vielschichtaktoren mit der erfindungsgemäß strukturierten Grundmetallisierung erfolgt deshalb eine Rissbildung ausschließlich entlang der nach außen führenden Innenelektroden, die vorteilhaft unkritisch ist, weil sie die Funktion des Aktors nicht beeinträchtigt.

[0016] Anhand von Ausführungsbeispielen wird die Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 4 eine Grundmetallisierung, die mittels Siebdruck mit einer Terminierungspaste erzeugt worden ist, mit einer erfindungsgemäßen Struktur aus einzelnen Punkten,

Fig. 5 mit einer erfindungsgemäßen Struktur aus ein-

zelnen Linien,

Fig. 6 mit einer erfindungsgemäßen netzartigen Struktur und

Fig. 7 mit einer erfindungsgemäßen Struktur, die aus einer vollflächig gedruckten Metallisierung durch mechanisches Abtragen herausgearbeitet worden ist.

[0017] Der schematische Aufbau der hier eingesetzten Vielschichtaktoren entspricht dem in Figur 1 dargestellten. Die erfindungsgemäßen Außenelektroden unterscheiden sich von der in den Figuren 2 und 3 dargestellten Außenelektrode durch die Strukturierung der Grundmetallisierung.

[0018] Die erfindungsgemäße Strukturierung der Grundmetallisierung wurde an fünf Ausführungsbeispielen geprüft. Dazu wurden zunächst Grundkörper von Vielschichtaktoren entsprechend Figur 1 hergestellt, auf denen in unterschiedlichen Mustern die Grundmetallisierung aufgebracht wurde. Danach wurden die Außenelektroden der Aktoren vervollständigt.

[0019] Die Herstellung von Grundkörpern der Aktoren erfolgt wie nachstehend beschrieben: Aus einem niedrig sinternden piezokeramischen Werkstoff, Bindersystem eine 125 µm dicke Folie präpariert. Auf diese Folie wird eine Innenelektrodenpaste aus Silber-Palladium-Pulver in einem Gewichtsverhältnis von 70/30 und einem geeigneten Bindersystem mittels Siebdruck aufgebracht. Eine Vielzahl derartiger Folien wird gestapelt und zu einem Laminat verpresst. Das Laminat wird in einzelne, stabförmige, Aktoren getrennt, diese werden bei etwa 400 °C pyrolysiert und bei etwa 1100 °C gesintert. Anschließend werden die Aktorgrundkörper an allen Seiten mechanisch bearbeitet.

[0020] Die Grundmetallisierung 3, beispielsweise aus einer geeigneten Silber-Palladium-Terminierungspaste, wird mittels Siebdruck aufgebracht; wobei dadurch eine Struktur 15 entsteht, dass die bedruckten Flächen 16 von unbedruckten Flächen 17 unterbrochen sind, wie es in den Figuren 4 bis 6 dargestellt ist. Anschließend erfolgt der Einbrennprozess. Das entstehende punkt-, linien- oder netzartige Raster 15 aus bedruckten Flächen 16 soll so fein wie möglich sein, wobei sichergestellt sein muss, dass jeweils benachbarte Innenelektroden 10, die entsprechend Figur 2 an die Oberfläche des Aktors 1 führen, durch mindestens eine aufgedruckte Fläche 16 miteinander verbunden werden. Um das zu erreichen ist es sinnvoll, das Raster 15 unter einem Winkel, in den Figuren 4 bis 6 mit 18 gekennzeichnet, gegenüber der Richtung der Innenelektroden 10 verlaufen zu lassen. Wird die Struktur zu fein, so sinkt die Festigkeit des Verbundes zur später aufgetragenen Verstärkungsschicht, beispielsweise einer aufgelöteten Netzelektrode. Bei einem Abstand der Innenelektroden 10 von 100 µm hat sich als besonders vorteilhaft ein bedruckter Bereich 16 der Grundmetallisierung 3 von 0,2

bis 0,3 mm mit gleich großen Unterbrechungen 17 erwiesen.

[0021] Die Grundmetallisierung kann auch durch örtliches mechanisches Abtragen einer ganzflächig aufgetragenen Schicht strukturiert werden, beispielsweise durch Einsägen oder Einritzen. Die Struktur kann weiterhin durch einen elektrochemischen Prozess erzeugt werden, wobei die Tatsache genutzt wird, dass elektrochemisch abgeschiedene Metalle porös sind. Eine derart erzeugte Struktur 15 ist in Figur 7 dargestellt.

[0022] Nach dem Einbrennen der Grundmetallisierung werden die Außenelektroden durch die Verstärkungsschicht vervollständigt, beispielsweise durch das Auflöten eines Metalldraht-Netzes. Anschließend können die Aktoren polarisiert und ihre Eigenschaften gemessen werden.

[0023] Nachstehend werden Proben von vier Ausführungsbeispielen mit erfindungsgemäßen Außenelektroden mit Proben mit Außenelektroden nach dem Stand der Technik verglichen.

[0024] Die Aktorgrundkörper der Proben, die entsprechend dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt worden sind, haben Abmessungen von 10 x 10 mm² Grundfläche und 30 mm Höhe. Die Dicke einer Keramikzelllage beträgt nach dem Sintern 100 µm, die Dicke einer Innenmetallisierungsschicht 2 µm. Die Aktorgrundkörper werden wie folgt weiterbehandelt:

[0025] Für Aktoren nach dem Stand der Technik als Referenz wird die Grundmetallisierung 3 aus einer geeigneten AgPd Terminierungspaste mittels Siebdruck aufgebracht, wobei keine Struktur erzeugt wird. Die Schicht ist gleichmäßig dick, die Schichtdicke beträgt 8 µm nach dem Einbrennen bei 800 °C.

[0026] Für das erste Ausführungsbeispiel wird die Grundmetallisierung 3 aus einer geeigneten AgPd Terminierungspaste mittels Siebdruck aufgebracht, wobei eine rasterartige Struktur 15 aus runden Punkten 16 erzeugt wird, vergleichbar dem Muster in Figur 4. Der Punktdurchmesser beträgt 0,2 mm, der Freiraum 17 zwischen zwei Punkten ebenfalls 0,2 mm. Das Raster 15 ist unter einem Winkel 18 von 20° zur Richtung der Innenelektroden 10 geneigt, so dass jeweils benachbarte Innenelektroden 10 durch mindestens eine aufgedruckte Fläche 16 miteinander verbunden werden. Die Schicht der Punkte ist gleichmäßig dick, die Schichtdicke beträgt 9 µm nach dem Einbrennen bei 800 °C.

[0027] Für das zweite Ausführungsbeispiel wird die Grundmetallisierung 3 aus einer geeigneten AgPd Terminierungspaste mittels Siebdruck aufgebracht, wobei eine linienartige Struktur 15 erzeugt wird, vergleichbar dem Muster in Figur 5. Die Breite der Linien 16 beträgt 0,2 mm, der Abstand 17 zwischen zwei Linien beträgt ebenfalls 0,2 mm. Die Linien 16 sind, wie beim ersten Ausführungsbeispiel, unter einem Winkel 18 gegenüber der Richtung der Innenelektroden 10 geneigt. Die Schicht der Linienstruktur 15 ist gleichmäßig dick, die Schichtdicke beträgt 9 µm nach dem Einbrennen bei 800 °C.

[0028] Für das dritte Ausführungsbeispiel wird die Grundmetallisierung 3 aus einer geeigneten AgPd Terminierungspaste mittels Siebdruck aufgebracht, wobei keine Struktur erzeugt wird. Die Schicht ist gleichmäßig dick, die Schichtdicke beträgt 8 µm nach dem Einbrennen bei 800 °C. In der Grundmetallisierung 3 wird ein Raster 15 aus Quadraten 16 erzeugt, indem mittels einer Diamantsäge die Schicht in 0,2 mm große Quadrate 16 aufgetrennt wird, vergleichbar dem Muster in Figur 7. Der Abstand 17 der Quadrate 16 beträgt 0,1 mm. Die Verbindungslinien der Quadrate im Raster 15 verlaufen unter einem Winkel 18 von 35° zur Richtung der Innenelektroden, damit jeweils benachbarte Innenelektroden durch mindestens ein Quadrat überdeckt werden.

[0029] Für das fünfte Ausführungsbeispiel, das hier nicht dargestellt ist, wird die Grundmetallisierung elektrochemisch in Form einer Nickelschicht abgeschieden. Die Nickelschicht ist etwa 2 µm dick und wird von einer ebenfalls elektrochemisch abgeschiedenen, 0,1 µm dicken Goldschicht überdeckt. Die Goldschicht verbessert die Lötbarkeit und hat keine andere Funktion. Die Nickelschicht ist verfahrensbedingt nicht völlig geschlossen und hat eine feine netzartige Struktur, wobei Durchbrüche in der Größenordnung des Keramikorns liegen, etwa zwischen 5 und 10 µm.

[0030] Auf die fünf Ausführungsbeispiele werden anschließend mit einem geeigneten Prozess die Außenelektroden durch ein aufgelötetes Drahtnetz vervollständigt. Als Netzwerkstoff wird ein dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Keramik vergleichbarer Werkstoff, beispielsweise FeNi₃₆, verwendet. Der Drahtdurchmesser beträgt 100 µm, die Maschenweite 200 µm. Das Netz ist galvanisch vorbehandelt, beispielsweise verkupfert, um die Lötbarkeit zu verbessern. Als Lot wird SnAg₄ verwendet. Die Lötzeit beträgt 10 Minuten bei 240 °C.

[0031] Nach dem Löten ist optisch erkennbar, dass bei den Varianten 2 bis 5 der Ausführungsbeispiele das Lot die Innenelektroden auch auf den nicht mit Grundmetallisierung versehenen Flächen benetzt hat.

[0032] Die Aktoren werden gereinigt und mit einer geeigneten Lackierung isoliert. Nach dem Anlöten der Anschlussdrähte an die Elektrodenetze werden die Aktoren in Prüfraumen mit 2000 N vorgespannt und mit einem Trapezsignal angesteuert. Dabei wird die Anspannung in 100 µs von 0 V auf 200 V angehoben, 1 ms auf 200 V gehalten, und dann in 100 µs auf 0 V erniedrigt. Die Wiederholfrequenz ist 200 Hz. Die Aktoren erreichen dabei Betriebstemperaturen von 150 bis 160 °C.

[0033] Die Variante 1 zeigt bereits bei 10⁶ Zyklen eine deutliche und starke Rissbildung. Die Risse durchtrennen die Isolierzone in beliebigen Richtungen, Risse entlang der Innenelektroden sind eher selten.

[0034] Die Varianten 2 und 3 zeigen nahezu identisches Verhalten, das sich von Variante 1 deutlich unterscheidet. Bei 10⁶ Zyklen tritt eine kaum sichtbare Rissbildung auf. Bei 10⁷ Zyklen tritt Rissbildung auf. Die

Risse verlaufen alle entlang der Innenelektroden, treten etwa doppelt so häufig auf wie bei der Variante 1, sind aber deutlich schwächer ausgeprägt. Auch nach 10^8 Zyklen bleibt dieser Zustand unverändert.

[0035] Die Variante 4 zeigt das günstigste Rissverhalten. Erst ab 10^8 Zyklen tritt deutliche Rissbildung auf. Die Risse verlaufen ebenfalls alle entlang der Innenelektroden. Bei dieser Variante scheren jedoch die Quadrate des Quadrat-Rasters 16 leicht von der Keramik ab. Die Ursache lag darin, dass der Übergang zwischen Grundmetallisierung und Keramik beim Sägeprozess am Rand der Quadrate geschädigt wurde. Durch optimieren der Trennschnitte in der Grundmetallisierung kann eine Beschädigung des Keramikwerkstoffs vermieden werden. Durch geeignete Ätzverfahren kann eine Beschädigung des Keramikwerkstoffs ebenfalls vermieden werden.

[0036] Die Variante 5 zeigt ein Rissverhalten wie die Varianten 2 und 3, jedoch ist die Haftfestigkeit des Nikkels auf der Keramik nicht ausreichend. Es treten nach und nach örtlich Ablösungen der Grundmetallisierung von der Keramik auf, wodurch die Funktion des Aktors bei langen Laufzeiten beeinträchtigt werden kann.

Patentansprüche

1. Außenelektroden (3, 4, 8) an piezokeramischen Vielschichtaktoren (1), bestehend aus einer auf dem Keramikwerkstoff (2) der Oberfläche des Aktors (1) aufgetragenen Schicht einer Grundmetallisierung (3), mit der mittels einer Verbindungsschicht (8) eine Verstärkungsschicht (4) verbunden ist, an der ein Anschlussdraht (5) angelötet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schicht der Grundmetallisierung (3) durch Unterbrechungen oder Ausnehmungen (17) strukturiert (15) ist.
2. Außenelektroden nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur (15) der Grundmetallisierung (3) aus einem Druckmuster einer geeigneten Terminierungspaste besteht, das mittels eines Druckverfahrens erzeugt worden ist.
3. Außenelektroden nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur (15) der Grundmetallisierung (3) durch einen mechanischen, chemischen oder elektrochemischen Abtrag in einer vollflächig aufgetragenen Schicht der Grundmetallisierung (3) gebildet ist.
4. Außenelektroden nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grundmetallisierung (3) aus einer geeigneten Terminierungspaste besteht, die die Zusammensetzung Ag_xPd_y aufweist, wobei $x + y = 1$ und $1 > x > 0$ sind, vorzugsweise aber $1 > x > 0,7$ ist.
5. Außenelektroden nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur (15) der Grundmetallisierung (3) durch eine poröse elektrochemische Abscheidung eines geeigneten metallischen Werkstoffs gebildet ist.
6. Außenelektroden nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der metallische Werkstoff Nickel ist.
7. Außenelektroden nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur (15) der Grundmetallisierung (3) aus über die Oberfläche des Aktors (1) angeordnete Flächen (16) besteht und dass die Flächen (16) mindestens so groß sind, dass jeweils benachbarte Innenelektroden (10) durch mindestens eine Fläche (16) miteinander verbunden sind.
8. Außenelektroden nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur (15) der Grundmetallisierung (3) aus Punkten (16) besteht, dass der Durchmesser der Punkte (16) der 0,5- bis 5-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entspricht, dass der minimale Abstand (17) der Punkte (16) ebenfalls der 0,5- bis 5-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entspricht und dass eine durch die Punkte (16) verlaufende gerade Linie einen Winkel (18) zu dem Verlauf der Innenelektroden (10) einschließt, der etwa zwischen 10 Grad und 80 Grad, vorzugsweise zwischen 15 Grad und 40 Grad liegt.
9. Außenelektroden nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser und der Abstand (17) der Punkte (16) der 2- bis 3-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entsprechen.
10. Außenelektroden nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur (15) der Grundmetallisierung (3) aus parallelen Linien (16) besteht, dass die Breite der Linien (16) der 0,5- bis 5-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entspricht, dass der minimale Abstand (17) der Linien (16) ebenfalls der 0,5- bis 5-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entspricht und dass die Linien (16) einen Winkel (18) zu dem Verlauf der Innenelektroden (10) einschließen, der etwa zwischen 10 Grad und 80 Grad, vorzugsweise zwischen 15 Grad und 40 Grad liegt.
11. Außenelektroden nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite und der Abstand (17) der Linien (16) der 2- bis 3-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entsprechen.
12. Außenelektroden nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur

- (15) der Grundmetallisierung (3) aus gitternetzartig angeordneten Linien (16) besteht, dass die Breite der Linien (16) der 0,5- bis 5-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entspricht, dass der minimale Abstand (17) der Linien (16) ebenfalls der 0,5- bis 5-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entspricht und dass die Linien (16) des Gitternetzes (15) in einem beliebigen Winkel (18) zueinander und zu dem Verlauf der Innenelektroden (10) stehen.
13. Außenelektroden nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite und der Abstand (17) der Linien (16) der 2- bis 3-fachen Dicke der Keramiklagen (2) des Aktors (1) entsprechen.
14. Außenelektroden nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindungsschicht (8) zwischen Grundmetallisierung (3) und Verstärkungsschicht (4) aus einem Lot besteht, das mindestens eines der Metalle Sn, Ag, Cu, Pb, Au, In, Ga aufweist.
15. Außenelektroden nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lot ein zinnhaltiger Werkstoff ist, vorzugsweise SnAg_4 oder $\text{SnCu}_{0,7}$.
16. Außenelektroden nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindungsschicht (8) zwischen Grundmetallisierung (3) und Verstärkungsschicht (4) ein elektrisch leitfähiger Klebstoff ist.
17. Verfahren zur Herstellung von Außenelektroden nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schicht der Grundmetallisierung durch Unterbrechungen und Ausnehmungen strukturiert wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur der Grundmetallisierung als Druckmuster mittels eines Druckverfahrens mit einer geeigneten Terminierungspaste erzeugt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur der Grundmetallisierung durch einen mechanischen, chemischen oder elektrochemischen Abtrag in einer vollflächig aufgetragenen Schicht der Grundmetallisierung gebildet wird.
20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grundmetallisierung aus einer geeigneten Terminierungspaste erzeugt wird, die die Zusammensetzung Ag_xPd_y aufweist, wobei $x + y = 1$ und $1 > x > 0$ sind, vorzugsweise aber $1 > x > 0,7$ ist.
21. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur der Grundmetallisierung durch eine poröse elektrochemische Abscheidung eines geeigneten metallischen Werkstoffs gebildet wird.
22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** als metallischer Werkstoff Nickel verwendet wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Struktur der Grundmetallisierung aus über die Oberfläche des Aktors verteilte Flächen gebildet wird und dass mindestens so große Flächen erzeugt werden, dass jeweils benachbarte Innenelektroden durch mindestens eine Fläche miteinander verbunden werden.
24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verstärkungsschicht auf die Grundmetallisierung aufgelötet wird, und dass das Lot mindestens eines der Metalle Sn, Ag, Cu, Pb, Au, In, Ga aufweist.
25. Verfahren nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lot ein zinnhaltiger Werkstoff ist, vorzugsweise SnAg_4 oder $\text{SnCu}_{0,7}$.
26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Unterbrechungen in der Struktur der Grundmetallisierung Metall aus dem Lot in die Innenelektroden einlegiert wird und dass der Keramikwerkstoff an diesen Stellen geschwächt wird, wodurch Vorzugsstellen für mögliche Rissbildungen und den Rissverlauf gebildet werden.

Fig. 1

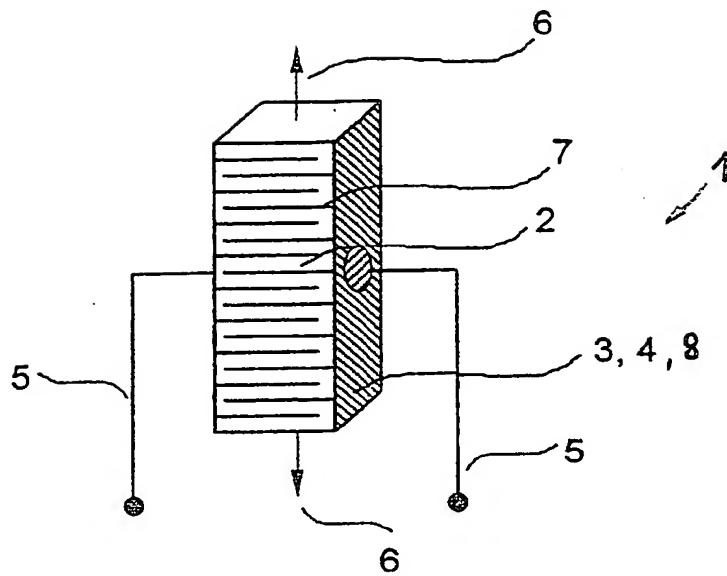


Fig. 2

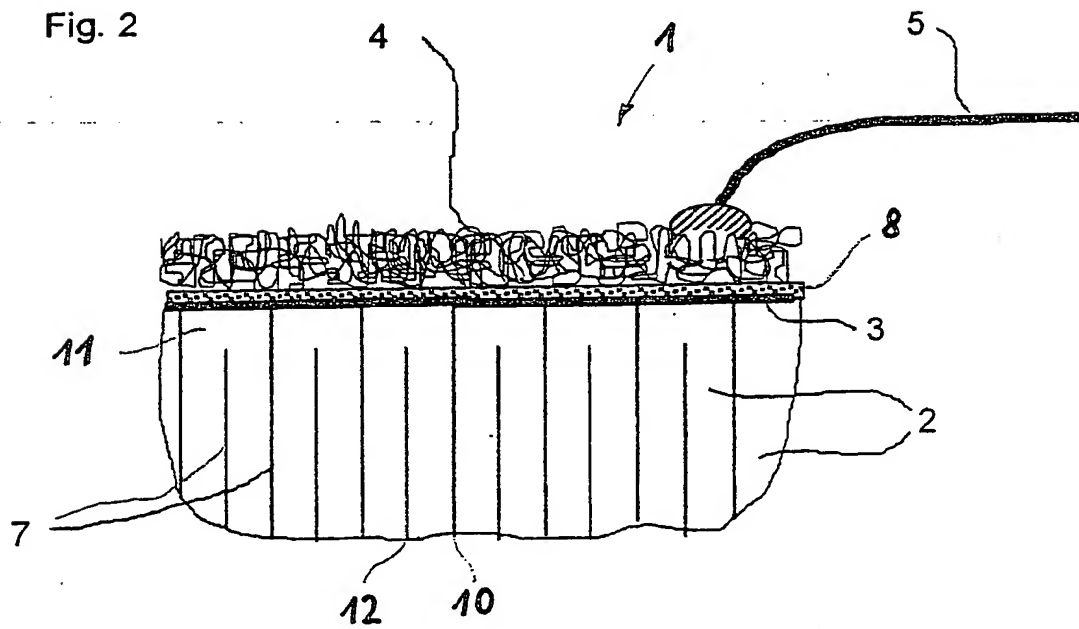


Fig. 3

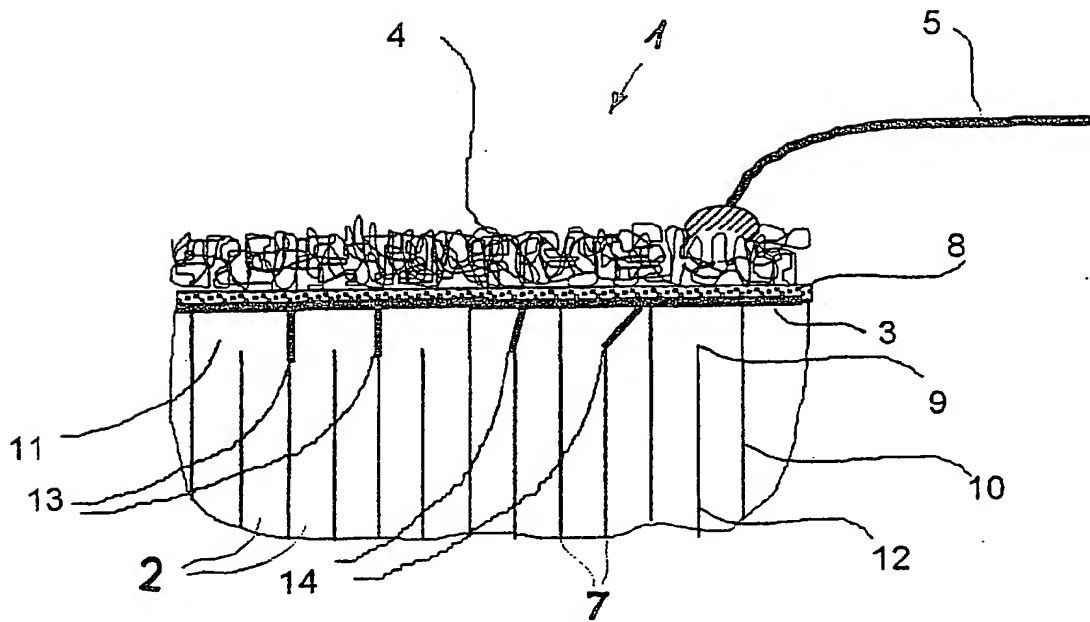


Fig. 4

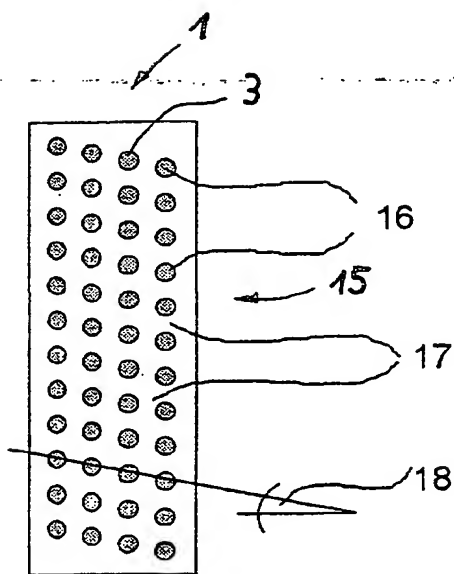


Fig. 5

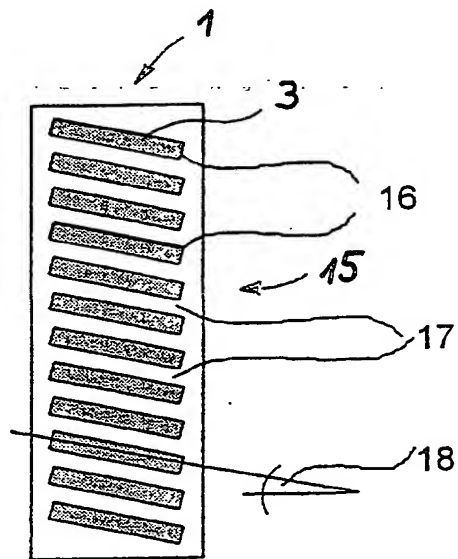


Fig. 6

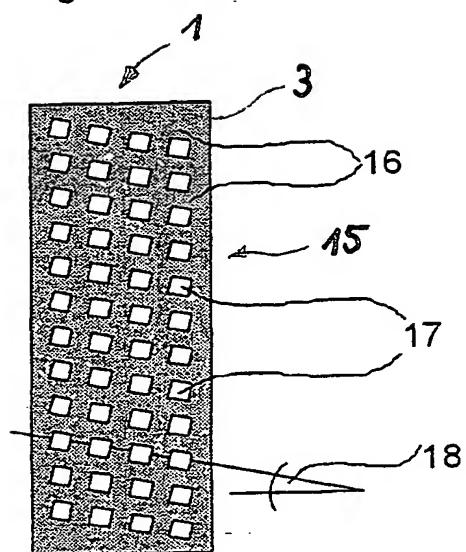
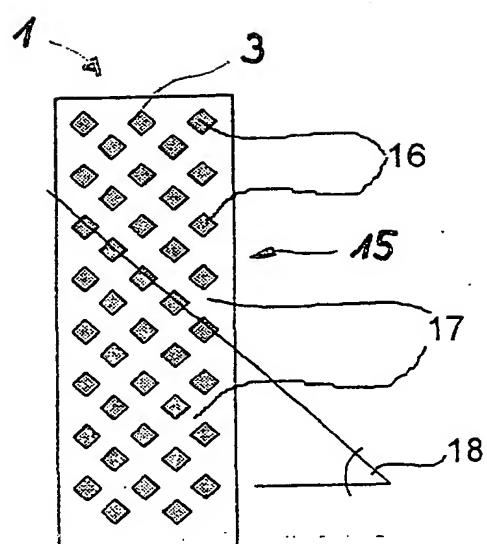


Fig. 7





Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 204 152 A3**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(88) Veröffentlichungstag A3:
02.06.2004 Patentblatt 2004/23

(51) Int Cl.7: **H01L 41/047**, H01L 41/083

(43) Veröffentlichungstag A2:
08.05.2002 Patentblatt 2002/19

(21) Anmeldenummer: 01126097.3

(22) Anmeldetag: 02.11.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• Bindig, Reiner
95463 Bindlach (DE)
• Schreiner, Hans-Jürgen, Dr.
91233 Neunkirchen am Sand-Rollhofen (DE)

(30) Priorität: 06.11.2000 DE 10054735
24.10.2001 DE 10152490

(74) Vertreter: Scherzberg, Andreas, Dr. et al
c/o Dynamit Nobel AG
-Patente, Marken & Lizenzen-
53839 Troisdorf (DE)

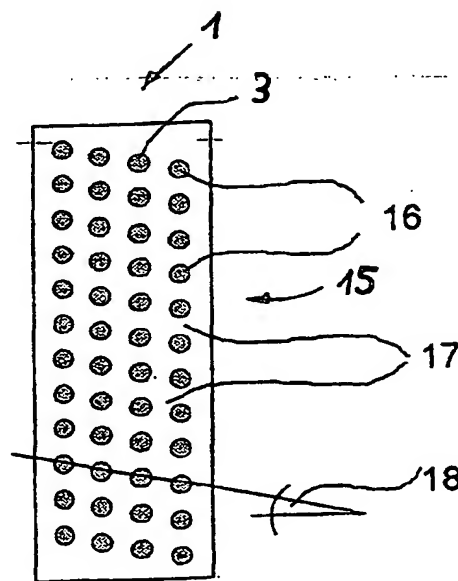
(71) Anmelder: CeramTec AG Innovative Ceramic
Engineering
73207 Plochingen (DE)

(54) Aussenelektroden an piezokeramischen Vielschichtaktoren

(57) Bei Außenelektroden an piezokeramischen Vielschichtaktoren, die in herkömmlicher Weise an die Vielschichtaktoren angebracht werden, wirken während des Betriebs starke Zugspannungen auf den Isolierbereich unter der Grundmetallisierung. Da dieser Isolierbereich zusammen mit der Grundmetallisierung und der Verbindungsschicht eine homogene Einheit bildet, versagt diese beim Überschreiten der Zugfestigkeit des schwächsten Gliedes und es bilden sich Risse. Die unkontrolliert durch den Isolierbereich verlaufenden Risse sind sehr kritisch, da sie den Isolationsabstand verringern und die Wahrscheinlichkeit eines Aktorausfalls durch Überschlüge stark erhöhen.

Erfindungsgemäß wird deshalb vorgeschlagen, dass die Schicht der Grundmetallisierung (3) durch Unterbrechungen oder Ausnehmungen (17) strukturiert (15) ist.

Fig. 4



EP 1 204 152 A3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 01 12 6097

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X,D A	DE 199 28 178 A (BOSCH GMBH ROBERT) 10. August 2000 (2000-08-10) * Zusammenfassung; Abbildung 4 * * Spalte 3, Zeile 19 - Spalte 3, Zeile 22 *	1-7, 14-25 8-13,26	H01L41/047 H01L41/083
A,D	DE 198 60 001 A (SIEMENS MATSUSHITA COMP OHG ;SIEMENS AG (DE)) 6. Juli 2000 (2000-07-06) * Abbildung 2 *	1-26	
A,D	DE 39 40 619 A (AVX CORP) 13. Dezember 1990 (1990-12-13) * Abbildung 4 *	1-26	
A	DE 42 24 284 A (HITACHI METALS LTD) 28. Januar 1993 (1993-01-28) * Zusammenfassung; Abbildungen 12-15 *	1-26	
A	US 4 523 121 A (HAMATSUKI TAKESHIGE ET AL) 11. Juni 1985 (1985-06-11) * Zusammenfassung; Abbildungen 22-25 *	1-26	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A,D	US 5 406 164 A (OKAWA YASUO ET AL) 11. April 1995 (1995-04-11) * Abbildungen 5,6 *	1-26	H01L
A	EP 0 655 790 A (KUREHA CHEMICAL IND CO LTD) 31. Mai 1995 (1995-05-31) * Abbildungen 2-4,7 *	1-26	
A	EP 0 427 901 A (BATTIELE MEMORIAL INSTITUTE) 22. Mai 1991 (1991-05-22) * Abbildung 1 *	1-26	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 8. April 2004	Prüfer Gröger.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichttechnische Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03/82 (P04003)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 12 6097

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

08-04-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19928178	A	10-08-2000	DE	19928178 A1	10-08-2000
DE 19860001	A	06-07-2000	DE	19860001 A1	06-07-2000
			FR	2787923 A1	30-06-2000
			US	6232701 B1	15-05-2001
DE 3940619	A	13-12-1990	US	4903166 A	20-02-1990
			CA	2001435 A1	09-12-1990
			DE	3940619 A1	13-12-1990
			FR	2648288 A1	14-12-1990
			GB	2232532 A ,B	12-12-1990
			JP	3011980 A	21-01-1991
DE 4224284	A	28-01-1993	JP	5029680 A	05-02-1993
			DE	4224284 A1	28-01-1993
			GB	2258084 A	27-01-1993
US 4523121	A	11-06-1985	JP	1472361 C	27-12-1988
			JP	58196068 A	15-11-1983
			JP	63017354 B	13-04-1988
			JP	1857861 C	27-07-1994
			JP	58196069 A	15-11-1983
			JP	63034636 B	11-07-1988
			JP	58196070 A	15-11-1983
			JP	58196071 A	15-11-1983
			JP	58196072 A	15-11-1983
			JP	58196073 A	15-11-1983
			JP	58196074 A	15-11-1983
			JP	1871855 C	06-09-1994
			JP	4051992 B	20-08-1992
			JP	58196075 A	15-11-1983
			JP	1944761 C	23-06-1995
			JP	6071102 B	07-09-1994
			JP	58196076 A	15-11-1983
			JP	1882024 C	10-11-1994
			JP	6005794 B	19-01-1994
			JP	58196077 A	15-11-1983
			JP	58196078 A	15-11-1983
			JP	1728730 C	29-01-1993
			JP	4009390 B	20-02-1992
			JP	58196079 A	15-11-1983
			AU	553391 B2	10-07-1986
			AU	1442283 A	17-11-1983
			CA	1206193-A1	17-06-1986
			DE	3378393 D1	08-12-1988
			EP	0094078 A2	16-11-1983

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 12 6097

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

08-04-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4523121 A		BR 8302536 A	17-01-1984
		KR 8600255 B1	21-03-1986
US 5406164 A	11-04-1995	JP 6350156 A	22-12-1994
		JP 3237966 B2	10-12-2001
		JP 7050435 A	21-02-1995
EP 0655790 A	31-05-1995	JP 3270527 B2	02-04-2002
		JP 6029587 A	04-02-1994
		US 5410210 A	25-04-1995
		EP 0655790 A1	31-05-1995
		DE 69316629 D1	26-02-1998
EP 0427901 A	22-05-1991	EP 0427901 A1	22-05-1991
		DE 68926166 D1	09-05-1996
		DE 68926166 T2	12-12-1996
		ES 2087089 T3	16-07-1996
		JP 3181186 A	07-08-1991
		US 5245734 A	21-09-1993

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang: siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr. 32/82

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**